Universitat Rovira i Virgili

Investidura com a doctor honoris causa del professor Hugh Scott Fogler

Sessió acadèmica extraordinària,
15 d'abril de 2016



Investidura com a doctor honoris causa del professor Hugh Scott Fogler

Sessió acadèmica extraordinària,
15 d'abril de 2016

Universitat Rovira i Virgili
Tarragona

Fotografia: Ramon Torrens
Imprès per Indústries Gràfiques Gabriel Gibert, SA

Dipòsit Legal: T. 741-2016

Índex

Elogi del candidat
a càrrec del doctor Azael Fabregat Llangostera



Rector Magnífic,
President del Consell Social,
Secretari General,
Benvolgut professor H. Scott Fogler,
Il·lustres autoritats acadèmiques,
Amics de la comunitat universitària,
Companys vinguts d'altres indrets, del món acadèmic, l'industrial i el social,

Actes com el que avui celebrem, el nomenament del professor H. Scott Fogler com a doctor honoris causa i, conseqüentment, la seva incorporació com a membre del Claustre de la nostra universitat, són valuosos per a la nostra institució, la Universitat Rovira i Virgili, perquè hi valorem i reconeixem l'excel·lència de persones distingides de la comunitat científica internacional i els incorporem a la institució en qualitat de doctors honoris causa, i això, evidentment, honora la nostra universitat.

Avui pretenc explicar, Rector Magnífic, les raons per les quals crec que hem de doctorar el professor Scott Fogler. Però, com a representant d'aquesta professió, no em podré estar de fer algunes pinzellades del que és i ha estat l'enginyeria química a casa nostra: a la nostra universitat i a la societat que ens envolta.

Si la meva informació és correcta, en l'acte d'avui presentarem el doctor honoris causa número 38 de la nostra universitat, i també serà la quarta vegada que s'honora un enginyer. Abans s'han doctorat aquí enginyers electrònics, mecànics i informàtics. Tampoc el món de la ciència ha estat massa més present en la llista dels nostres doctors honoris causa, ja que n'hi ha hagut només quatre. En total, ras i curt, un escàs 20% del total de doctors honoris causa de la URV, que no crec que sigui reflex del que és, ha estat i vol seguir sent la nostra institució. Institució que, aprofito per recordar, és avui en el lloc 83 de les universitats joves del món, segons el darrer rànquing publicat, el del Times Higher Education.

Potser la raó per què el meu departament, amb el suport de l'Escola d'Enginyeria Química, ha trigat tant a proposar un doctor honoris causa és que ha estat molt enfeinada fent els deures, ja que amb un pes en professorat que no arriba al 5% del total de la universitat presenta una participació en aquells paràmetres de recerca i producció científica que permeten que la URV gaudeixi de la posició internacional a què em referia, que ultrapassa el 15% i arriba en alguns casos al 20%.

No és tampoc fàcilment comprensible aquest retard pel que fa a l'impacte social de l'enginyeria química a casa nostra. La indústria química representa un 11% del PIB de l'Estat espanyol, i el clúster químic de Tarragona, el polígon petroleoquímic més gran del sud d'Europa, concentra un 25% de la indústria química espanyola, amb més de 40.000 llocs de treball i una producció per valor de 15.000 milions d'euros l'any.

Crec, no obstant tot allò mencionat, que l'espera ha valgut la pena. El professor Fogler és una institució en el món de l'enginyeria química. Un dels pocs noms que és conegut arreu del món. És un excel·lent docent, un gran investigador i un bon transferidor de tecnologia, com intentaré demostrar a continuació.

Scott Fogler és professor a la Universitat de Michigan, al Departament d'Enginyeria Química, des de l'any 1965, en què s'hi va incorporar després de doctorar-se a la Universitat de Colorado. Sí, fa 51 anys. I va néixer l'any 1939; té, per tant, 76 anys. Més endavant faré algun comentari respecte d'aquestes dues dades: l'edat i els anys de professió. Encara avui gaudeix ensenyant als graduats i als alumnes de màster les matèries de reactors químics i fa seminaris d'estratègies de resolució creativa de problemes. D'això darrer també en fem aquí, i la aquesta setmana hem tingut l'honor que presentés el Seminari de Resolució de Problemes a l'ETSEQ. La seva natural curiositat el va dur, també, a graduar-se en cuina (a la fi emparentada amb l'enginyeria de la reacció química), el 1985, al New Orleans School of Cooking. Potser per això ha sabut cuinar tan be tot allò en què ha estat present a la seva llarga carrera.

Els seus interessos en recerca han estat sempre centrats en el marc de l'aplicació dels principis de l'enginyeria de la reacció química a la indústria del petroli, en el transport i reacció en medis porosos, en cinètiques de gelificació i en l'estabilitat dels asfaltens en fluxos multifàsics. Ha publicat més de dos-cents articles de recerca i, al seu costat, s'han doctorat més de quaranta estudiants. Ha liderat molts projectes de recerca finançats per

agències governamentals americanes i per companyies privades. Un total de nou companyies petrolieres han confiat en els seus coneixements per afrontar els reptes científics i tecnològics en els molts anys de la seva llarga carrera, invertint-hi, només en els darrers anys, més de quatre milions de dòlars. Molt recentment, ha dut a terme un estudi, encomanat per una comissió nomenada pel president Obama, per fer recomanacions per al flux de petroli i productes petrolífers en el sistema d'oleoductes Keystone, que connecta el Canadà i els Estats Units a través de més de 5.000 km i que està en fase de construcció.

A més de la seva tasca com a investigador, el professor Fogler s'ha caracteritzat, al llarg del temps, com un docent excel·lent. Ha rebut molts honors i premis de docència a la seva universitat i al seu país. He sigut capaç de comptar-ne quinze, de premis de docència, al seu currículum, així com deu premis per la seva tasca a l'ASEE (Societat Americana d'Educació en Enginyeria) i a l'AIChE (Institució Americana d'Enginyers Químics). Per destacar alguna d'aquestes distincions, esmentaré el Warren K. Lewis Award de l'AIChE o el Chemical Manufactures Association's National Catalyst Award. A tall d'exemple, els diré que ha pronunciat la lliçó inaugural en dotze universitats americanes i que ha pronunciat lliçons invitat en més de cent cinquanta universitats i centres de recerca i transferència d'arreu del món.

El professor Fogler ha estat, també, president de l'AIChE, la principal associació mundial d'enginyers químics, fundada l'any 1908 i que compta amb 45.000 membres de més de cent països.

A banda de la seva rellevant recerca i docència, per si alguna cosa és conegut el professor Fogler arreu del món és per l'autoria de dos veritables *best-sellers* de l'enginyeria: *Elements of Chemical Reaction Engineering*, utilitzat com a llibre de text en tot el món, que va ja per la cinquena edició, i *Strategies for Creative Problem Solving*, que permet introduir aquesta competència essencial per als enginyers, la resolució de problemes, d'una manera senzilla i amena. No són els únics llibres que ha publicat, però sí que són dues referències per a la docència de l'enginyeria química.

El primer, *Elements of Chemical Reaction Engineering*, és el llibre de text de l'àrea d'enginyeria química més venut al món i ha estat adoptat com a llibre de referència en pràcticament totes les assignatures de reactors dels ensenyaments d'enginyeria química, ja des de la primera edició de 1986, i en les següents edicions de 1992, 1998, 2005 i 2016. L'obra ha servit per formar, en aquesta àrea, generacions d'enginyers químics d'arreu del món

durant els darrers trenta anys i ha esdevingut clau en la història de l'enginyera química recent. Jo diria que gairebé tots els enginyers químics actius del món s'han format amb un Fogler a la vora. A més, constitueix una fita en els llibres de text de nivell universitari, ja que presenta els continguts d'una manera clara, concisa i organitzada lògicament.

Encara recordo els meus primers llibres de reactors, de la meva etapa de formació, començaments dels setanta, complicats i obtusos. Per contra, aquest manual és capaç d'integrar text, elements visuals i simulacions per ordinador, a fi d'ajudar el lector a resoldre els problemes més complexos a través de raonaments, en comptes de recórrer a l'aplicació rutinària i memorística d'equacions; l'obra s'avança, així, dues dècades a la implantació de les actuals directrius formatives que marquen l'espai europeu d'educació superior.

La col·laboració del professor Fogler amb l'associació americana CACHE (Computer Aids for Chemical Engineering) li ha permès utilitzar totes les eines informàtiques, en les seves versions educatives, que han anant apareixent en els darrers vint-i-cinc anys. Així, els primers paquets informàtics de resolució de problemes (Polymath, MATLAB, Aspen Plus...) han format part dels CD i DVD que acompanyen el seu llibre i han estat, en molts casos, els introductors de la informàtica d'alt nivell a l'enginyeria química. També ha utilitzat en els CD i DVD tots els mitjans per convertir l'ensenyament de l'enginyeria dels reactors químics en un aprenentatge agradable i amè. No és estrany participar en un programa de televisió per reforçar els continguts de la matèria o participar en una novel·la de suspens en algun dels materials didàctics esmentats, com segur que podrien constatar algun dels assistents en aquest acte. Amb els seus materials, el professor Fogler posa en pràctica allò que avui els pedagogs consideren la base de l'aprenentatge de qualitat, ja que sense emocions no hi ha aprenentatge.

Pel que fa a l'altre llibre a què feia referència, *Strategies for Creative Problem Solving*, d'autoria compartida amb Steven E. LeBlanc, va constituir una fita en la integració de les competències transversals al currículum de l'enginyeria, perquè va potenciar el desenvolupament d'aquesta competència bàsica en les funcions pròpies dels enginyers, a través d'una aproximació organitzada i natural, i va obrir el camí a evolucions posteriors molt més sistemàtiques. Aquest llibre permet al lector, a través d'un procés de resolució pas a pas de processos, identificar un problema mal definit i fixar el problema real, explorar les restriccions i factors determinants, generar

diferents vies de solució, seleccionar la més favorable i aplicar-la d'una manera planificada que serà més tard avaluada i millorada.

Les idees didàctiques presents als seus llibres han inspirat, entre d'altres, el model educatiu que du a terme l'ETSEQ durant els darrers vint anys i són en part responsables dels dos premis Jaume Vicens Vives de docència universitària de la Generalitat de Catalunya, un en la seva modalitat col·lectiva i l'altre en la modalitat individual, que ha rebut l'ETSEQ en els darrers anys.

Actualment, el professor Fogler continua participant activament en la docència, al mateix temps que manté actives les línies de recerca, com ens va demostrar divendres passat en un seminari de recerca dedicat als nostres alumnes de doctorat d'Enginyeria Química i dimarts passat inaugurant l'activitat dels seminaris interdisciplinaris "Watson 2.0: Estratègies de resolució de problemes". A més, comparteix la seva passió comunicadora, que tastaran tot seguit amb la conferència, en un seguit de presentacions en què, sota el títol genèric "Globalization: chemical engineers working together to solve problems in the next decade", aprofita la seva experiència i visió i el fet d'haver treballat transversalment en tots els àmbits científics i tecnològics per explicar com els enginyers químics, que han tingut un paper essencial en el desenvolupament tecnològic de la humanitat, estan en situació excepcional d'afrontar els reptes de futur d'aquest segle: l'energia, la salut, l'aigua, la contaminació...

Els deia al començament que faria una referència a l'edat del professor Fogler i als anys que ja porta com a enginyer químic. Sí: 76 i 51. La voluntat meva i del Departament d'Enginyeria Química, a qui avui m'honro de representar, era poder presentar aquesta candidatura l'any passat i celebrar tots plegats els 50 anys d'enginyer químic i els 75 anys d'edat del professor Fogler. No va ser possible, però sí que ho és que enguany, també quan fa 30 anys de l'aparició del llibre *Elements*... Felicitats, Scott.

Professor Fogler, on behalf of my colleagues at the School of Chemical Engineering, on behalf of our students, and on my own behalf, thank you for agreeing to come here to participate in this event. I would like to remark that we have been aware of your mastery of the discipline for a long time in Tarragona and we hope to continue enjoying your good work, your good humor and your friendship.

Com marca la tradició, Rector Magnífic, he exposat, en la mesura que m'ha estat possible, els mèrits del professor Scott Fogler. Crec que he dit prou perquè amb la vostra autoritat li sigui atorgat el reconeixement dels

seus mèrits. Conseqüentment, us demano que us digneu nomenar doctor honoris causa el professor H. Scott Fogler i, així, incorporar-lo al Claustre de la nostra universitat.

Moltes gràcies.

Discurs d'investidura
pronunciat pel professor Hugh Scott Fogler

Abstract

This presentation will discuss the various sources of energy the world uses to meet the current 16 terawatt demand. This demand will increase to around 36 terawatts by 2050 when alternative energy sources will be needed to meet the world's energy requirement. Research areas in which chemical and other engineers can help meet this challenge will be discussed along with underlying scientific principles.

Rector Joseph Anton Ferré Vidal, Faculty and Students of Rovira i Virgili University and distinguished guests, I am so much honored to receive the *doctor honoris causa* from your distinguished university. It is the greatest honor I have ever received. Having spent this past week giving lectures, and meeting faculty and students, I have been able to see firsthand the high quality of your programs, faculty, and students.

Today I would like to discuss world energy needs and how chemical engineers can help meet these needs. First, let's review examples of the scales of energy as shown in Figure 1.

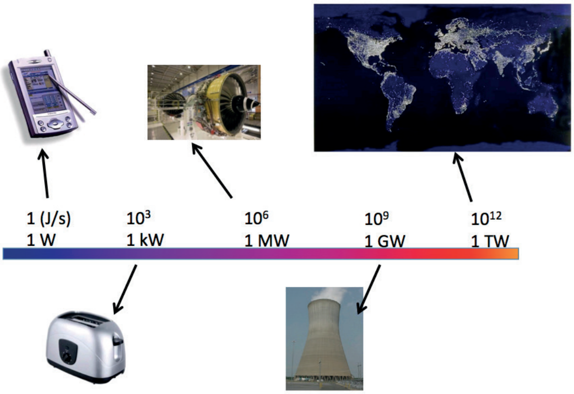


Figure 1. The Scale of Today's Energy

To power a cell phone requires 1 watt (1 joule per second); to power a toaster requires 1 kilowatt (10^3); to power a jet engine requires 1 megawatt (10^6); the power from a nuclear energy plant is a gigawatt (10^9); the power required to sustain all the lights in the world turned on at the same time is 1 terawatt (1 TW). The world's demand for energy is currently 16 terawatts. Even at a 16 TW energy level, there are still approximately 2 billion people who don't have direct access to energy.

The primary sources of energy that currently make up the 16 terawatts are shown in Figure 2.

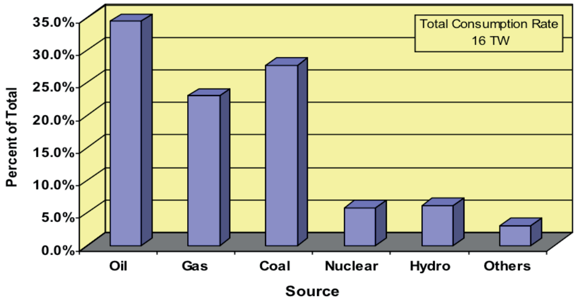


Figure 2. World's Sources of Energy

We see that approximately 85% of our current energy sources are fossil fuels with nuclear, hydro and other sources supplying the remainder. Most of the consumption of oil results from transportation and we see from Figure 3 that with the increased usage of automobiles in China and India, the consumption of oil is projected to increase by a factor of 3 by 2050.

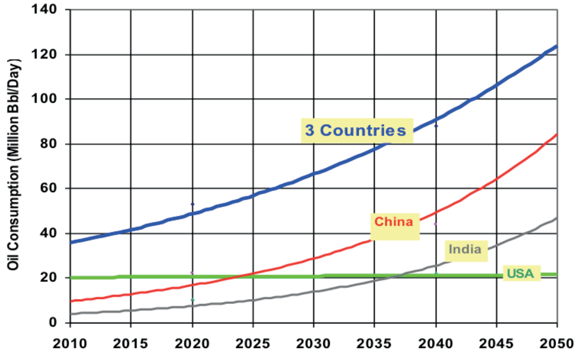


Figure 3. Projected Oil Consumption

Figure 4 shows the consumption of oil as a function of time up to 2015. After 2015, we see there are three scenarios for the projected production of oil between 2015 and 2050. The best

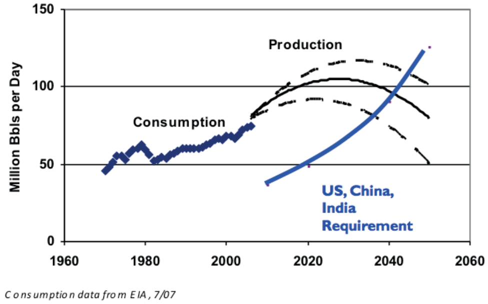


Figure 4. World Oil Consumption and Production

expected projection in oil production is shown by the top dashed line and the worst case projection is shown by the bottom dashed line. The actual projection will depend on such things as newfound petroleum sources, improved recovery, etc. Superimposed on this plot is the expected demand for oil between 2015 and 2060. We see that we will reach a "critical" point at which the projected demand exceeds the projected production somewhere between 2035 (worst case scenario) and 2050 (best production case). This intersection where the production cannot meet the demand could be a tipping point in world stability as petroleum and fossil fuels will not be able to meet the increased demand in energy.

The world's population will increase from its current level of 7+ billion to 9+ billion in 2050 (Figure 5). This increase in population has been predicted to result in the energy demand to increase by as much as two and a half times its current 16 TW level by 2050. So how will we be able to meet this demand?

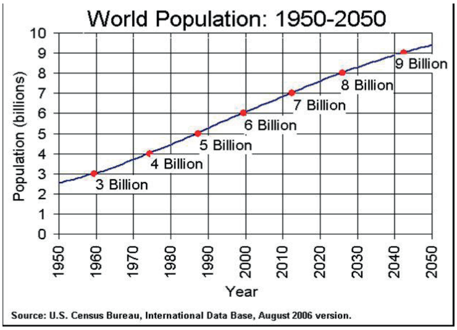


Figure 5. The "Crowded Planet"

Figure 6 shows the terawatts supplied by fossil fuels, nuclear and renewables between 2005 and 2050. The yellow band represents fossil fuels, the red-purple band nuclear and the blue-purple band renewables. When we look at the energy nuclear plants can supply, we note that to just have nuclear remain at the same percentage of the total energy in 2050 as it was in 2005, we would have to increase nuclear energy output to 1.91 terawatts. This increase would require building a 1200 megawatt nuclear power plant every 12 days from now until 2050. Therefore neither nuclear or oil will be able to provide the unmet balance shown in Figure 6.

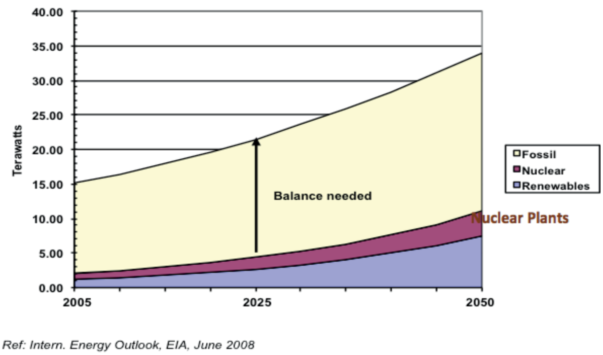


Figure 6. Energy Supplied form Fossil Fuels, Nuclear and Renewables.

The various energy sources (namely hydro, wind, geothermal, biomass nuclear and solar) that are expected to help meet the energy demand by 2050 are shown in Figure 7.

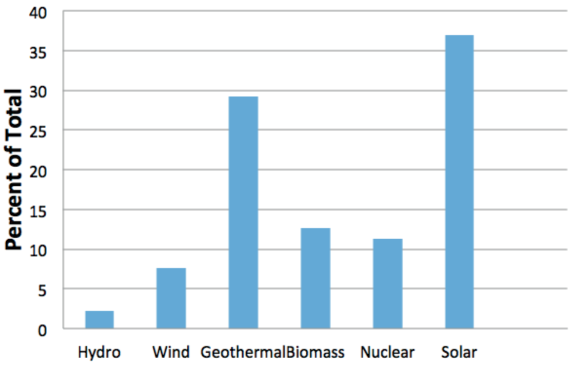


Figure 7. Alternative Energy Contributions in 2050

Let us consider each of these sources individually moving from left to right in Figure 7.

Hydroelectric

All water flow on the planet combined would produce only 4.6 TW. However, of that total of 4.6 TW, only 1.6 TW is technically feasible and of that 0.9 TW is economically feasible while 0.6 TW is currently harvested. However, I would like to note the river spinners shown in Figure 8a that are connected to an electrodynamic generators could produce much needed electricity in the rural areas of third world countries.

(b) Dams

(a) River Spinners

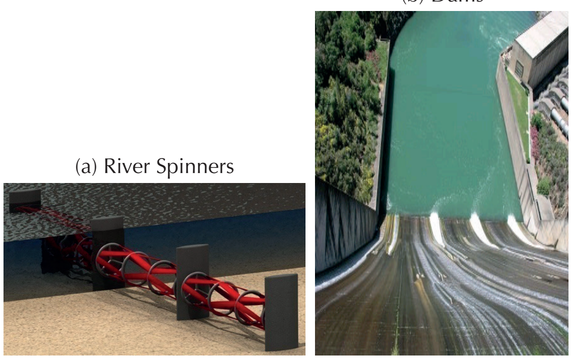


Figure 8. Hydroelectric Power Sources

Wind Energy

All of the potential wind energy in the world combined could contribute 2-3 terawatts of the 34 terawatts needed in 2050 to the total required. Consequently, wind energy could contribute as much as 10% of the total. Figure 9 shows two different devices for collecting wind energy: turbines and spinners.

(a) Turbines

(b) Spinners

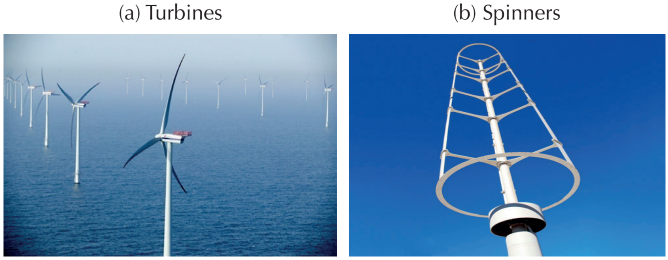


Figure 9. Wind Energy

The downside of harvesting wind energy is that the collecting devices are not environmentally friendly to birds, especially the turbines (9a) as one observes many dead birds in the proximity of the turbines. To make collecting devices more environmentally friendly to birds, spiral spinners were developed; however, they do not generate nearly as much power as the turbines. Spiral spinners are currently being used at the Detroit Metropolitan Wayne County Airport (DTW), 25 miles from my hometown, Ann Arbor, Michigan.

Geothermal Energy

Geothermal energy (Figure 10) has great promise in helping meet the estimated demand for 2050. The total potential geothermal energy from all continents is 11.6 terawatts, assuming 100% heat engine efficiencies. While 100% is not realistic at this point, chemical engineers have the background in fluid mechanics, thermodynamics and heat transfer to improve the technology for harvesting geothermal energy.



Figure 10. Geothermal Energy

Figure 11 shows a schematic diagram of how energy is harvested from a geothermal well. Here a water injection well and several production wells are drilled down into the hot porous formation. The water from the injection well then flows through the porous media, absorbing heat from the hot porous rock. The injected water that has been heated eventually reaches a production well where it flows to the surface. On the surface steam and hot water are passed through turbines and heat exchangers to recover the energy.

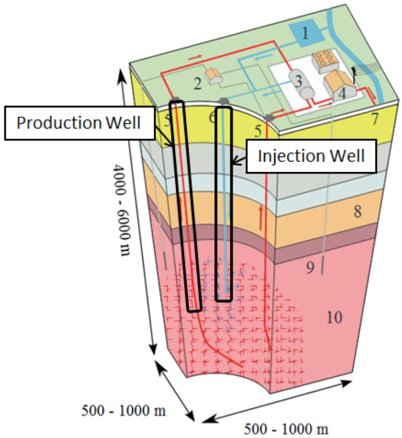


Figure 11. Geothermal Energy Resources

Solar Energy

The next energy source shown in Figure 7, solar, may hold the best promise for the future and for long term sustainability. It also presents great challenges on how to harvest it. The earth receives 174,000 terawatts of energy from the sun. As a result, 1 hour of sun is equal to 1 year of energy consumption. Recall the current world energy demand is 16 TW. There are many types of solar energy as shown in Table 1 and we will discuss each type individually.

Table 1. Types of Solar Energy

• *Solar Thermal*
Absorption
Concentrated Solar Power (CSP)
• *Solar Voltaic*
• *Solar Chemical*
• *Solar Photo Catalytic*
Water Splitting

Solar Thermal Absorption

First, let's look at absorption, with a focus on heating an office building or a home. Figure 12 shows a solar panel on top of a house that absorbs heat from the sun causing the temperature of the panel to rise. A heat ex-

change fluid, such as ethylene glycol, passes through the panel and flows down a pipe into the house into a heat exchanger contained in a buffer storage tank. The heat exchanger transfers energy from the hot ethylene glycol to heat water that can be drawn from the tank as needed. If weather conditions don't permit sufficient energy to heat the water, additional heating is supplied electrically. In addition, the fluid passing through the solar panel could be also passed through heat exchange radiators to heat the air in the houses.

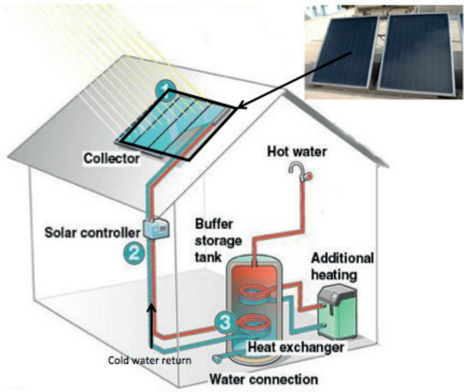


Figure 12. Solar Thermal Absorption – Heating Home Water

Two different types of solar collectors are shown in Figure 13. The flat panel and the Sydney evacuated tubes. The Sydney tubes (which are used in China and Europe) are more efficient because there is less of a convective heat loss from the collector.

(a) (b)

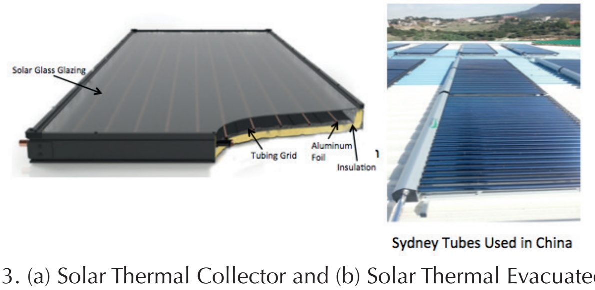


Figure 13. (a) Solar Thermal Collector and (b) Solar Thermal Evacuated Tubes

Solar Thermal Concentrated Solar Power (CPS)

Another type of solar thermal energy is the Concentrated Solar Power (CSP) system shown in Figure 14. This solar furnace at Odeillo the French Pyrenees uses a gigantic mirror to focus on the sun's rays to a very small area where temperatures can reach 3800 degrees Celsius. These high temperatures can be used to accelerate chemicals in reactions as will be discussed below in the modular CSP collectors.



Figure 14. Solar Thermal: Concentrated Solar Power (CSP)

Figure 15 shows a modular collector of concentrated solar power at the ENREL site near Denver, Colorado. Here, reflecting mirrors turn as the sun moves across the sky to concentrate the energy in a solar thermal reactor located at the top of the column in the middle of each module.



Figure 15. Modular CSP

This reactor uses biofuels such as switch grass shown in Figure 16 as the raw material to produce syngas.



Figure 16. Switch grass: Biofuel for Feedstock CSP Reactor

The switch grass is pulverized and fed into the solar thermal chemical reactor shown in Figure 17 where reactions such as

$$\text{(1) Cellulose:} \quad C_6H_{10}O_5(C) + H_2O(W) \rightarrow 6H_2 + 6CO$$

$$\text{(2) Lignin:} \quad C_{10}H_{12}O_3(L) + 7H_2O(W) \rightarrow 13H_2 + 10CO$$

take place. Research on this reactor is currently being carried out by Professor Al Weimer and his students at the University of Colorado.

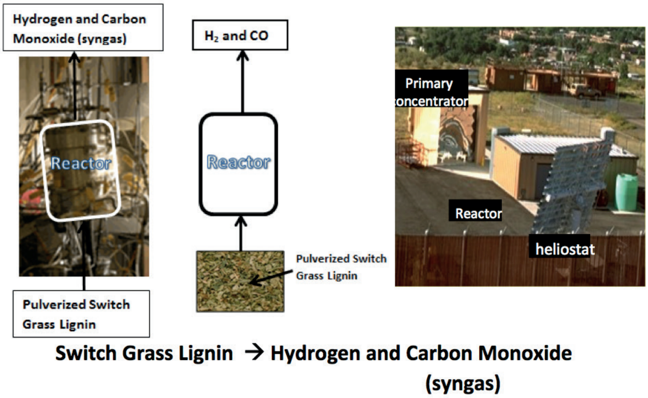


Figure 17. Solar Thermal Reactor, University of Colorado

Because of the high temperatures in the reactor of around 1200-1400°C, the biofuel is completely consumed to produced hydrogen and carbon monoxide (Syngas). Syngas can then be used in Fischer-Tropsch reactions

to produce a multitude of organic chemicals. This solar thermal reactor and reactor system will provide a wealth of research products for engineering faculty and students.

Solar Voltaic

Solar voltaic cells produce direct electricity current from sunlight. A solar voltaic collector panel with an application to power parking meters in downtown Ann Arbor, Michigan is shown in Figure 18. A 1 kW photo voltaic system substitute for 150 lbs of coal and prevents 300 lbs of CO_2 from entering the atmosphere. While most of the research on photo voltaic can be found in physics and electrical engineering departments, chemical and materials science engineers are working on solar voltaic surface materials such as mono and poly- crystalline Si, amorphous Si, CdTe, $CuIn_xGa_{1-x}Se_2$ (CIGS), etc. to increase their efficiency.

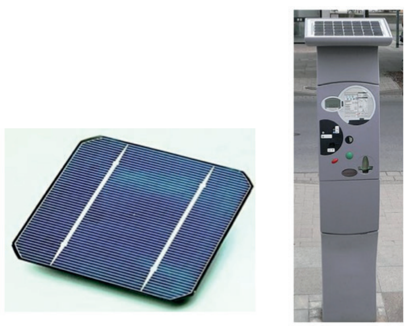


Figure 18. Solar Voltaic Power

Figure 19 shows the largest photo voltaic plant in the world near Sarnia, Ontario in Canada. This solar voltaic plant produces 97 megawatts of energy.



Figure 19. Solar Voltaic Power. The largest photovoltaic power plant in the world

Solar Toilet

While reviewing the literature on solar voltaic applications, I came across a solar toilet powered by a battery that is continually charged by the sun using a solar voltaic panel. A photograph of the solar toilet is shown in Figure 20. This technology could greatly improve sanitation and the spreading of diseases in rural areas of developing countries.



Figure 20. Solar Toilet: For Rural Locations in Developing Countries

A diagram of the system for processing solid and liquid waste can be seen in Figure 21. Here the solid and liquid wastes are first discharged to an anaerobic bacteria holding tank, which begins to break down the waste into carbon dioxide, hydrogen acetate, methane, alcohols and other products. The resulting sludge is passed on to an electrochemical reactor that operates as a reverse fuel cell. The reverse fuel cell uses a small car type battery that is recharged by a solar photo voltaic panel. The battery generates a current (electrons) that is passed through the reactor to produce chlorine to sterilize the waste as shown in Figure 22. The top photo to the right of the schematic of the electrochemical reactor shows the yellow liquid entering the reactor and the bottom photo shows the clear liquid exiting the reactor.

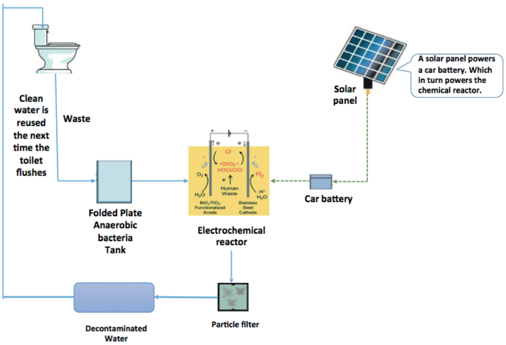


Figure 21. Solar Toilet

After exiting the electrochemical reactor, the sludge like material is filtered and the water returned to the toilet.

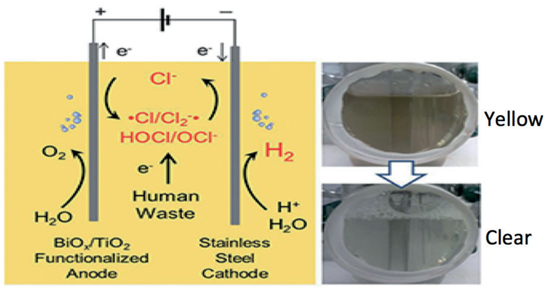


Figure 22. Solar Toilet Reactions

Solar Chemical

Solar Chemical is a fruitful area of research area for both chemists and chemical engineers. The goals are to find chemicals with large heats of reaction and to design reactors that can be used to store and release energy. In solar chemical energy storage, the sunlight causes a chemical reaction to take place in the forward direction to form a compound with a large heat of reaction. Examples of two solar chemical reactions are shown in Figure 23. Here, the sunlight causes (a) anthracene to dimerize and (b) azobenzene to isomerize. After absorbing the sun's energy and storing it in the chemical species of dimers and isomers, the energy can be released when the temperature is raised and the reaction proceeds in the reverse direction. The use of novel reactors to take advantage of this technology is also needed.

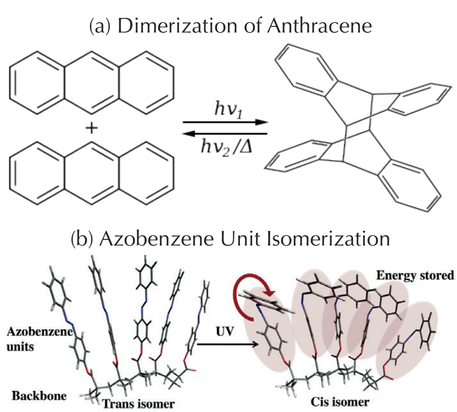


Figure 23. Solar Chemicals

Photo Catalysis

In this area, chemical engineers and materials scientists have golden opportunities to carry out research to find materials that when exposed to sunlight will split water into hydrogen and oxygen. One such material is nickel ferric oxide ($NiFe_2O_4$) shown in Figure 24. As can be seen in Figure 24, when $NiFe_2O_4$ is exposed to sunlight. Step 1 takes place and $NiFe_2O_4$ releases oxygen and forms iron (11) oxide, iron (111) oxide and nickel oxide as shown in Figure 24. The resulting oxide material will then be reacted with water in Step 2 to regenerate $NiFe_2O_4$ and release hydrogen. As can be seen in Figure 24 last reaction causes the material to be returned to its original state $NiFe_2O_4$.

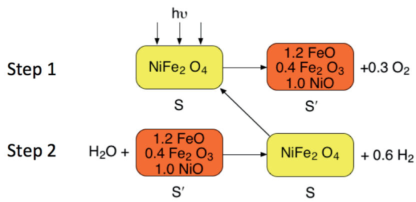


Figure 24. Photocatalysis: Solar Energy Conversion: Water Splitting

Fuel Cells

The most environmentally friendly energy sources in the hydrogen-oxygen fuel cells. Electricity can be generated by feeding hydrogen and oxygen through the sides of the fuel where they react over a catalysis inside of the reactor to produce water and electricity. The two half-cell reactions are

$$\tfrac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$$

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$$

As mentioned, this fuel cell is the purest form of energy production as there are no green house gases or other products produced that are harmful to the environments (Figure 25).

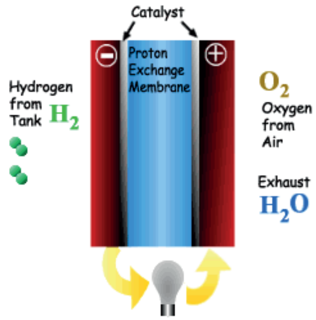


Figure 25. Hydrogen and Fuel Cells

Bio Fuels

While there are many sources of biofuels such as switch grass mentioned earlier, I would like to close with a project that I have been associated with. This process is to grow and process algae to make algae fuel oil. Figure 26 shows green algae growing on a pond.



Figure 26. Algae as a Biofuel

Algae are commercially grown in "raceway" ponds (reactors) as shown in Figure 27. When supplied with CO_2 and sunlight, algae grow and divide to produce more algae.

$$\text{Sunlight} + CO_2 + H_2O + \text{Algae} \rightarrow \text{More Algae} + O_2$$

The carbon dioxide feed to the algae pond can come directly from a coal or other fossil fuel combustion process and piped into the algae pond to saturate the water with CO_2. The growth rate is proportion to the amount of sunlight, the dissolved CO_2 concentration, and algae concentration.

$$\text{Growth Rate} = \text{Sunlight} * \mu * C_{\text{Cells}}$$

$$\text{where} \quad \mu = \frac{\mu_0 C_{CO_2}}{K_m + C_{CO_2}}$$

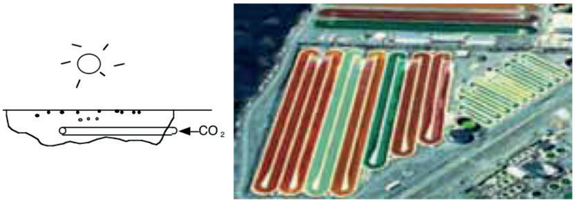


Figure 27. Biofuels: Raceway Ponds to Grow Algae

Research and pilot plants are already in operation to rapidly grow and convert algae to fuel oil. The algae are harvested from the pond, concentrat-

ed using flocculating agents and then placed in a high temperature extractor where they are processed and reacted to form algae fuel oil. One such reactor and the corresponding reactor system are shown in Figure 28.



Figure 28. Algae is processed to extract oil and nutrients

What To Do?

Table 2 gives a summary of the types of solar energy that chemical engineers are ideally trained to do research on in order to advance the field. As faculty, our job is to teach and guide these students to develop critical and creative thinking skills so that they can move the energy field forward.

Table 2

For Students and Practicing Engineers to Focus on	
Solar Thermal:	Nanoparticles for Energy Capture
Solar Thermal:	CSP Biofuels and Reactor Design
Solar Voltaic:	New Materials for Surface Design
Solar Chemical:	New Chemicals and Reactor Design
Photo catalysis:	New Materials and Reactor Design
Fuel Cells:	New Membrane Materials
Biomass:	Determining the Best Fuel Sources
For Faculty to Focus on	
Developing Students Critical and Creative Thinking Skills	

You will note in Table 2 that I have added a challenge to faculty. That is, in addition to teaching the fundamental technical content and carrying out research in core areas, faculty need to develop problems, exercises and courses to increase the students' critical and creating thinking skills. The chemical engineering department at Universitat Rovira i Virgili is doing just that!!

In closing I want to say again how thrilled and deeply honored I am to receive the *doctor honoris causa* from Universitat Rovira i Virgili. Thank you very much.

References

1. Chen, J.C. "Where is the Chemical Engineering Industry Headed?" *Chem Eng. Prog.*, **103**(1), 265-295, 2007.

2. Lewis, N., "Breaking the Wall of Global Energy Challenge @Falling Walls," 2014 https://www.youtube.com/watch?v=16IQhTiN6OI

3. Lewis, N., "Powering the Planet: Where in the World Will Our Energy Come From," 5/25/2005, https://www.youtube.com/watch?v=EUKqx2uk-Gs

4. Lewis, N., https://en.wikipedia.org/wiki/Nathan_Lewis

5. Big Think with Nate Lewis, https://www.youtube+/watch?v=55KoD-mTxaUI

6. Lewis, N., https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy

7. Lewis, N., Solar Energy 101, GCEP Symposium, 2010. https://www.youtube.com/watch?v=9yNj1zEh-nM

8. Lewis, N., Global Energy Perspective, nsl.caltech.edu/energy

9. Floudas, C.A., Niziolek, A.M., Onel, O. and Matthews, L.R. "Multi-Scale Systems Engineering for Energy and the Environment: Challenges and Opportunities," *AIChE J.*, **62**(3), 602-623, 2016.

10. Cho, K., Kwon, D. and Hoffmann, M.R. "Electrochemical treatment of human waste coupled with molecular hydrogen production," *RSC Adv.*, **4**, 4596-4608, 2014.

Paraules de benvinguda pronunciades pel Dr. Josep Anton Ferré Vidal Rector Magfc. de la Universitat

Benvolgut Prof. Scott Fogler,
Sr. President del Consell Social,
Sr. Secretari general de la URV,
Prof. Azael Fabregat,
Senyores i senyors claustrals,
Regidora d'universitat de l'Ajuntament de Tarragona,
Rector Grau,
Distingides autoritats,
Membres de la comunitat universitària de la URV,
Senyores i senyors,

És un orgull prendre la paraula en aquest acte de doctorat honoris causa, en aquesta ocasió també molt singular per a mi, atès que el Dr. Fogler és professor d'Enginyeria Química.

Com saben, l'acte d'investidura d'un doctorat honoris causa és el de màxima solemnitat per a la comunitat universitària en el qual s'integren al nostre claustre persones que s'han distingit per la seva activitat en benefici de les arts, la cultura, les ciències, el progrés econòmic i social. I per a aquest acte reservem també la litúrgia que ens evoca el paper cabdal que, des de fa segles, té la institució universitària en la societat, per al desenvolupament de la qual preserva i fa avançar el coneixement.

I és a partir d'aquest reconeixement que la Universitat també es defineix, perquè són les persones que s'han integrat a la URV en un acte solemne com el d'avui les que expressen al món quins són els nostres referents d'acompliment acadèmic, artístic, cultural o en el servei a la societat. I la seva incorporació al Claustre de la URV ens aporta, de la seva banda, honor i també reconeixement. És per això que, per orgull nostre, presideixen l'entrada a la Universitat, per expressar-los de forma permanent el nostre reconeixement.

El professor Azael Fabregat, en la seva *laudatio,* ha posat de manifest tots els mèrits acadèmics i científics que fan mereixedor el professor Fogler de

la màxima distinció acadèmica que atorga la Universitat, i que hem pogut apreciar en la *magistralis lectio* amb la qual el doctor Fogler ens ha obsequiat. És tot un honor i un privilegi donar la benvinguda al nostre Claustre al Prof. Scott Fogler, i ho faig amb molt de gust, tant a títol personal com en nom del tots els membres de la Universitat.

La distinció de doctorat honoris causa sempre vol emfatitzar valors de la nostra universitat, i en aquesta ocasió el Dr. Fogler simbolitza les tres grans missions que corresponen a la institució universitària: la formació, la recerca i la transferència de coneixement. Així, en la seva trajectòria acadèmica Scott Fogler ha estat premiat i distingit per la seva excel·lència en l'àmbit de la docència, en el de la recerca i en el de servei. I ha estat distingit tant pel seu Departament d'Enginyeria Química com per l'Escola d'Enginyers i pel conjunt de la seva universitat, la Universitat de Michigan, a més de molts altres reconeixements externs. Ens trobem, doncs, davant d'un universitari en tota la seva dimensió, que ha generat coneixement i l'ha transmès a través de la formació o amb l'aplicació concreta en l'àmbit socioeconòmic.

Voldria destacar el treball del Dr. Fogler al voltant de la docència en enginyeria química, que el va portar a rebre el premi Warren K. Lewis de l'American Institute of Chemical Engineers per la seva contribució a l'ensenyament en aquesta matèria. Però considero que possiblement trobem l'exemple més emblemàtic de la seva contribució a la docència d'altíssima qualitat en els nostres mateixos estudiants, els quals coneixen bé la manera com té d'explicar l'enginyeria química i ho poden compartir amb milers d'estudiants de moltes universitats d'arreu que utilitzen els seus llibres de text com a obres de capçalera. Una excel·lència docent que reflecteix la profunditat científica del seu coneixement, el qual també ha estat objecte d'aplicació industrial i tecnològica.

És així com des de la Universitat Rovira i Virgili sempre hem entès el sentit de tota universitat, i és per això que vam posar especial èmfasi, des de l'inici, en l'activitat investigadora, com a suport d'una bona docència i d'una sòlida transferència de coneixement a la societat.

El padrí, el doctor Fabregat, posava de manifest també la seva excepcional contribució científica i de transferència amb més de dos-cents articles de recerca i diversos llibres i l'impuls de més de deu càtedres patrocinades. Són dades que mostren la seva contribució al coneixement, en el triple vessant que els comentava: docència, recerca i transferència. I ha estat aquesta solidesa del Dr. Fogler en l'exercici de la tasques associades a les missions

de la universitat el que, possiblement, l'ha portat a ser un referent en l'àmbit de l'enginyeria química.

Per tant, el Dr. Fogler, amb el seu mestratge, ha contribuït no només al que som com a universitat, sinó també al que som com a societat. Perquè la seva tasca l'ha dut a terme en un àmbit central per al sud de Catalunya, com és la química i l'enginyeria química, en unes comarques on conflueixen el conjunt d'elements essencials per al desenvolupament d'una economia més innovadora en aquest camp: formació universitària, recerca d'excel·lència, transferència de tecnologia i coneixement, i el pol petroquímic més important del sud d'Europa, que genera més de 40.000 llocs de treball entre directes, indirectes i induïts i que representa la quarta part de la producció química de l'Estat espanyol i inclou empreses productores i empreses de serveis, agrupades en ChemMed Tarragona, el clúster industrial, logístic, acadèmic i científic de la química.

La construcció d'una economia més innovadora i generadora de llocs de treball és essencial per mantenir el nostre model de benestar. I per fer-ho cal una aposta decidida tant per la inversió en formació com per inversió, que no despesa, en R+D i en innovació. L'àmbit químic, precisament, constitueix un bon exemple d'aquest procés innovador, que esdevé, també, per a les institucions públiques un exemple del compromís amb la societat.

El Dr. Fogler és, doncs, símbol del que entenem com a universitat i del que ha estat el compromís de la URV amb la seva societat, des de fa gairebé vint-i-cinc anys. Mestratges com el del Dr. Fogler són essencials per al desenvolupament de la universitat al segle XXI, que reforcen i donen ple sentit a la missió que tenim com a universitaris.

Per tant, avui celebrem l'entrada al nostre Claustre d'un referent del nostre compromís amb la societat.

Dr Scott Fogler, thank you for accepting this award. More than an honour for you, it is an honour for us. Your membership of the University Senate confers prestige on the Universitat Rovira i Virgili and encourages us to work even harder to be worthy of the privilege of your association with us.

Today, with this recognition of your merits, you are acquiring a commitment to represent the Universitat Rovira i Virgili, which I am sure you will undertake with distinction. Please accept my warmest welcome and those of the university community, which from today we hope will feel like your own.

Moltes gràcies.

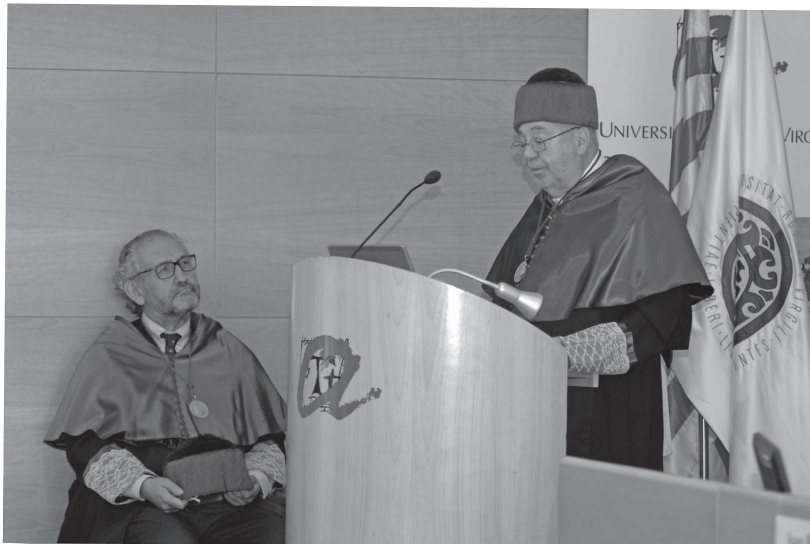













World's Sources of Energy
Sources of Primary Energy
World in 2007



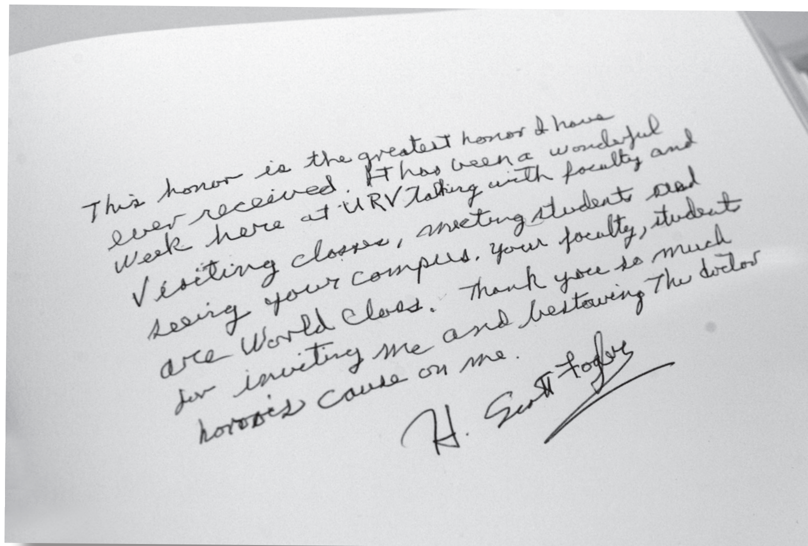











This honor is the greatest honor I have
ever received. It has been a wonderful
week here at URV talking with faculty and
visiting classes, meeting students and
seeing your campus. Your faculty, students
are World class. Thank you so much
for inviting me and bestowing the doctor
honoris cause on me.
H. Scott Fogler



